
ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научная статья

УДК 614.841.412; DOI: 10.61260/1998-8990-2025-4-89-103

II ЭТАП РАЗВИТИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ. Ч. 2

✉Алексеев Сергей Геннадьевич.

Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем и машин»
Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

✉3608113@mail.ru

Аннотация. На II этапе эволюции метода определения температуры вспышки и воспламенения появляются открытые тестеры Эльзаса и Лотарингии, лабораторный прибор для определения температуры вспышки нефтепродуктов в открытом тигле ЛТВО (русский тестер ВНИИПО), Тага, микротестер МакКатчена-Янга, полуавтоматические и автоматические приборы МакБарнея, Уайта, Горельцева и Лифшица, Рудого и Пешенко, Белорусского государственного университета, Стандарт ойл компании. Московским заводом «Нефтегаз» разработан экспресс-анализ для нефтепродуктов с температурой воспламенения ниже 20 °С. Гилмором создан капельный метод с использованием блока для определения температуры плавления. Шараповым и Фоминой предложена методика для уменьшения времени испытаний. В приборе Горельцева и Лифшица реализована идея совмещения принципов работы открытого и полужакрытого типов тестеров. Приведен пример трансформации закрытого прибора Пенски-Мартенса в тестер открытого типа с использованием специальной насадки.

Ключевые слова: температура вспышки, температура воспламенения, прибор, аппарат, тестер, нафтометр

Для цитирования: Алексеев С.Г. II этап развития экспериментальных методов определения температуры вспышки. Ч. 2 // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 4 (76). С. 89–103. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-4-89-103.

Scientific article

THE SECOND PHASE DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL METHODS FOR DETERMINING FLASH POINT. PART 2

✉Alexeev Sergey G.

Science and engineering centre «Reliability and safety of large systems and machines»
of Ural branch of Russian academy of sciences, Yekaterinburg, Russia

✉3608113@mail.ru

Abstract. Open testers of Alsace-Lorraine, LTRA (Russian Tester VNIPO), Tag, microtester of McCutchan-Young, semi-automatic and automatic devices of McBurney, Wight, Goreltsev and Lifshits, Rudoi and Peschenko, Belarusian State University, Standard Oil company appear at the 2nd stage of evolution of development of the method determination for flash and fire points. Express analysis for oil products with flash point below 20 °C was developed by the Moscow plant «Neftegaz». The drip method using a block to determine the melting temperature is created by Gilmore. The technique to reduce the time of testing for flash point is proposed by Sharapov and Fomina. The idea of combining the principles of open and semi-closed types of testers is implemented in the Goreltsev–Lifshits's device. An example of the transformation of the closed device of the Pensky-Martens into the open-type tester using a special nozzle is given.

Keywords: flash point, fire point, device, apparatus, tester, naphtometer

For citation: Alexeev S.G. The second phase development of experimental methods for determining flash point. Part 2 // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2025. № 4 (76). P. 89–103. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-4-89-103.

Введение

В первой части были отмечены особенности II этапа эволюции методов и приборов определения температуры вспышки, а также применение тестеров полужакрытого типа. В настоящей работе рассмотрено развитие методов установления температуры вспышки легковоспламеняющихся (ЛВЖ) и горючих жидкостей (ГЖ) в аппаратах открытого типа. Для удобства используется ранее предложенная классификация тестеров для измерения температуры вспышки [1].

Открытый тигель

В начале II этапа модификация открытых нафтометров IX столетия шла не только по линии усложнения тестеров. Востребовано было также направление по их упрощению. В качестве примера можно привести открытый тигель, который часто использовался в Эльзасе и Лотарингии в 1920–1930-х гг. при неофициальных испытаниях тяжелых нефтепродуктов. Как видно из рис. 1, этот аппарат представляет собой упрощенный вариант прибора Кливленда с фарфоровым тиглем на 60–65 мл [2].

В Советском союзе в ОСТ/ВКС 7872-35, а затем в ГОСТ 1369-42 «Аппарат для определения температуры вспышки нефтепродуктов. Основные размеры. Технические условия» и ГОСТ 4333-48 «Масла и темные нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле» закрепляется отечественная модификация нафтометра Бренкена – аппарат ЛТВО¹ (рис. 1 б), которая состоит из песчаной стальной бани ($\varnothing = 100 \pm 5$ мм, $h = 50 \pm 5$ мм) и стального тигля ($\varnothing = 64 \pm 1$ мм, $h = 47 \pm 1$ мм)². Для измерения температуры использовался термометр длиной 290–305 мм и толщиной 6–7 мм, градуированного от 0 до 360 °С. Для защиты от движения воздуха применялся экран из жести, окрашенный с внутренней стороны в черный цвет, высотой 550–650 мм [3].

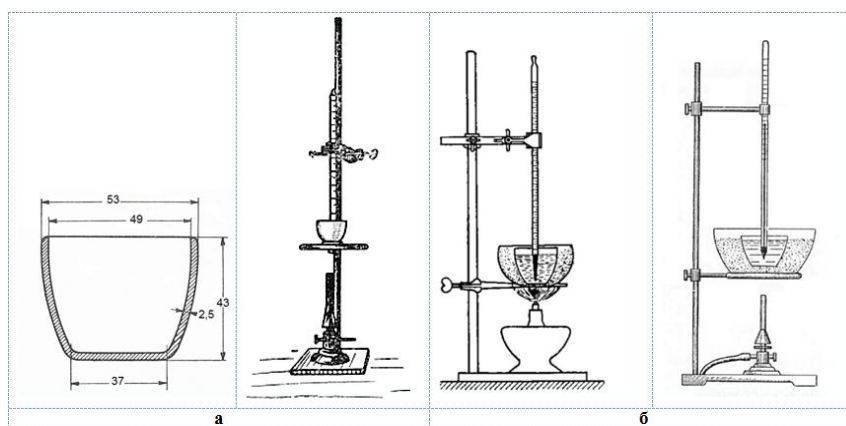


Рис. 1. Модификации открытого тигля:

а – прибор открытый тигель Эльзаса–Лотарингии [2]; б – аппарат ЛТВО без защитного экрана [3]

¹ Основным отличием аппарата ЛТВО от стандартного прибора Бренкена [1] является замена фарфорового тигля на стальной и использование защитного экрана

² В оригинальном тестере Бренкена используется не стальной, а фарфоровый тигель указанных в тексте размеров. При этом габариты песчаной бани не регламентированы, но отмечено, что высота слоя тестируемой жидкости должна быть ниже верхнего уровня слоя песка в бане на 1,2 см [1]. Во время Великой отечественной войны для тестирования горюче-смазочных материалов в Красной армии рекомендовалось применять стандартный прибор Бренкена. При этом тигель заполнялся образцом жидкости на 18 мм ниже края тигля для ГЖ с температурой вспышки не менее 220 °С. В других случаях уровень тестируемой жидкости не должен доходить края тигля на 12 мм [4]

Уровень заполнения тигля тестируемой пробой контролировался с помощью специального шаблона [5]. В зарубежной литературе данный прибор получил название русского тестера ВНИИПО (Russian VNIPO Tester) [6]. До 1980-х гг. прибор ЛТВО активно применялся в Советском союзе³ наряду с тестером Кливленда [7] до появления аппарата ТВО с фарфоровым тиглем [8]. В дальнейшем было разрешено использовать тигли из любого коррозионностойкого материала и строго не придерживаться нормативной конструкции [9], приведенной на рис. 2⁴.

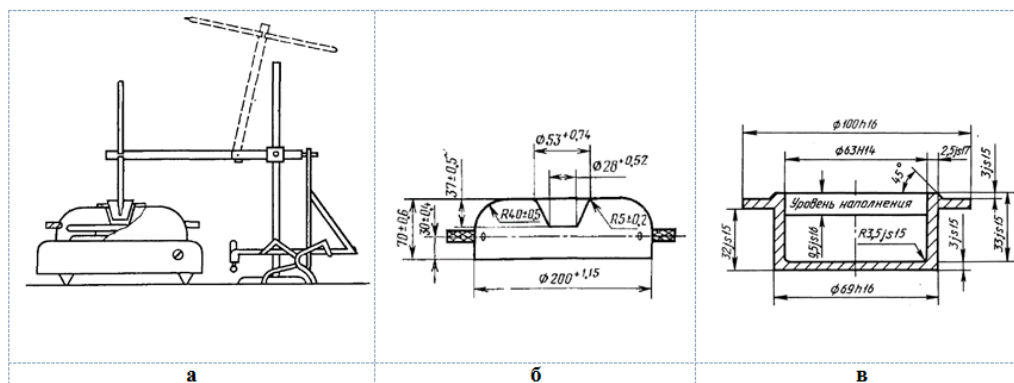


Рис. 2. Прибор ТВО по ГОСТ 12.1.044 без защитного экрана:

а – общий вид [8]; б – размеры бани [8]; в – размеры тигля по ГОСТ 12.1.044-89 [9]

В 1926 г. Джоном У. МакБарнем (John W. McBurney) запатентована принципиальная схема тестера с автоматической записью процесса испытаний. Из-за несовершенства термопар и регистрирующих устройств начала XX столетия в предлагаемой схеме использованы термопары сравнения. Так, по разнице электродвижущей силы (ЭДС) термопар 1 и 2 с помощью регистрирующего устройства 10 и плеча самописца с ручкой 8 фиксируется вспышка и воспламенение пробы. Температуры вспышки и воспламенения определяются по разнице ЭДС пары термопар 3 и 4 с регистрацией плеча самописца 9 на бумажном диске 7 (рис. 3) [10].

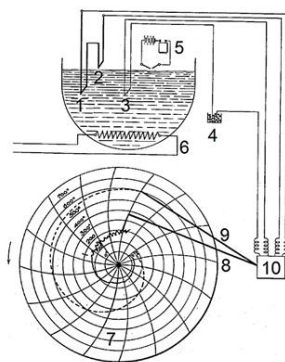


Рис. 3. Тестер МакБарнея [11]:

- 1, 3 – термопары в масляном тигле; 2 – термопара у поверхности тестируемой жидкости;
4 – термопара в ледяной бане; 5 – искровой источник зажигания; 6 – нагреватель;
7 – градуированный бумажный диск; 8, 9 – плечи самописца с чернильными ручками;
10 – регистрирующее устройство

³ Для определения температуры вспышки нефтепродуктов аппарат ЛТВО применялся до ввода в действие ГОСТ 4333–2014, ГОСТ 26378.4–84 (2015). При этом ГОСТ 26378.4–84 (2015) допускает применение приборов типа ЛТВО

⁴ Безусловно, что изготовители новых приборов для определения температуры вспышки должны показать, что прецизионность результатов испытаний на новых тестерах не выходит за границы нормативно-допустимых значений

Дальнейшее развитие идеи Дж. У. МакБарнея получило в приборах Белорусского государственного университета [11–17]. На рис. 4 приведена принципиальная схема аппарата одного из этих тестеров [14], другие тестеры университета отличаются только системой автоматического контроля и управления.

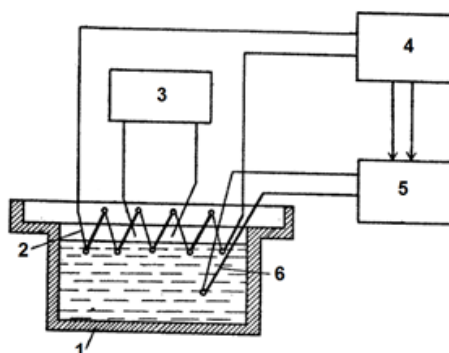
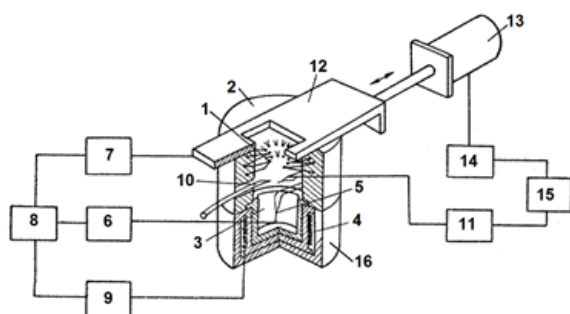


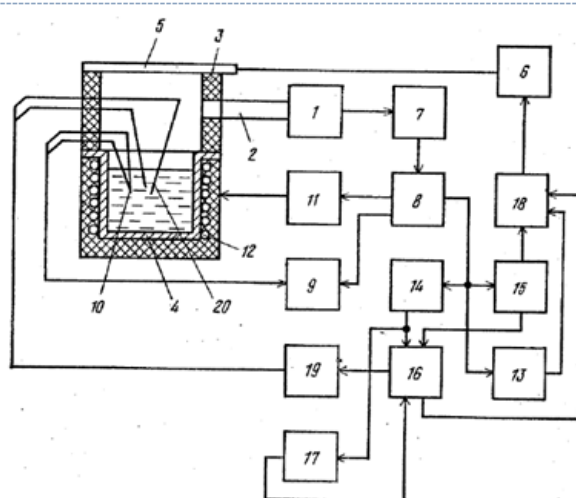
Рис. 4. Аппарат Белорусского государственного университета от 1979 г. [14]:

1 – тигель; 2 – блок фиксации вспышки; 3 – источник зажигания;
4 – усилитель; 5 – регистратор; 6 – датчик температуры

Необходимо отметить, что белорусскими исследователями также предложены принципиальные схемы автоматизации приборов типа закрытый паровой тестер с источником зажигания (рис. 5), при этом предлагаемый прибор также может эксплуатироваться в режиме открытый тигель при заблокированной открытой шторке [18, 19].



1 – датчик пламени (вспышки);
2 – крышка прибора;
3 – тигель;
4 – нагреватель;
5 – термopapa;
6 – регистрирующее устройство;
7 – усилительный блок;
8 – ключевой блок;
9 – блок питания; 10 – искровой источник
зажигания; 11 – блок импульсного тока;
12 – подвижная заслонка; 13 – привод;
14 – блок управления; 15 – линия задержки;
16 – основание прибора



1 – датчик вспышки;
2 – патрубок;
3 – баня;
4 – тигель;
5 – шторка (крышка);
6 – привод шторки;
7 – усилитель;
8 – ключевой блок;
9 – блок регистрации;
10 – термopapa;
11 – блок питания;
12 – нагреватель;
13 – времязадающий блок;
14 – генератор; 15 – схема задания режима работы; 16 – коммутатор; 17 – линия задержки; 18 – блок управления; 19 – блок вспышки; 20 – электротоковой разрядник

Рис. 5. Приборы Белорусского госуниверситета от 1984 г. [18, 19]

В 1938 г. Франком Уайтом (Frank H. Wight) представлен нафтометр для проверки качества смазочных масел по температуре вспышки (рис. 6). Спецификой данного прибора является использование необычного тигля 4 с нагревателем 5 и подпружиненного вала 6. При ручном повороте последнего происходит сближение электродов 2, в результате чего происходит искровой разряд. При отпускании вала электроды 2 возвращаются в первоначальное положение за счет действия пружины 7. В остальном способ определения температуры вспышки в приборе Уайта не отличается от обычных методик в открытых тестерах [20].

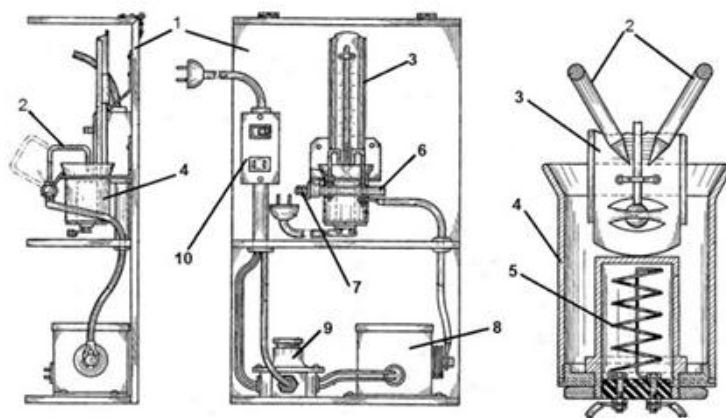


Рис. 6. Нафтометр Франка Уайта [20]:

1 – станина; 2 – электроды источника зажигания; 3 – термометр;
4 – тигель; 5 – нагревательный элемент; 6 – вал;
7 – пружина; 8 – трансформатор; 9 – предохранительный блок; 10 – пускатель

В 1950–1960-х гг. в СССР для экспресс-анализа нефтепродуктов с температурой воспламенения ниже 20 °С применялся метод Московского завода «Нефтегаз», который заключался в следующем: охлажденную до 18–20 °С и перемешенную в течение 2–3 мин пробу заливают в стеклянную пробирку ($\varnothing = 22\text{--}25$ мм, $h = 150\text{--}160$ мм) до высоты 40 мм. Далее пробирку закрывают корковой пробкой с термометром, шарик которого располагается на расстоянии 15 мм от дна пробирки. Затем пробирку помещают в охлаждающую баню и с помощью сухого льда понижают температуру пробы на 25–30 °С ниже ожидаемой температуры воспламенения. При достижении необходимой температуры пробу переливают в предварительно охлажденный 40 мл фарфоровый тигель (верхний диаметр 45 мм), устанавливают термометр и тестируют открытым пламенем на вспышку и воспламенение через каждые 2 градуса. Допустимая погрешность ± 2 °С [21].

В 1954 г. опубликован пробный стандарт ASTM D 1310 для тестирования жидкостей с температурой вспышки ниже 175 °F (79,4 °C)⁵, в котором в качестве стандартного тестера был закреплен открытый тестер Тага [22], запатентованный Чарльзом Тальябу (Charles J. Tagliabue) еще в 1918 г. [1]. Метод и открытый прибор Тага дожил практически без существенных изменений⁶ до настоящего времени и закреплен в стандартах США, Испании, Чили, Перу и других стран [23–29].

Трансформация закрытого тестера, включая прибор Пенски-Мартенса, в открытый нафтометр путем снятия крышки по мере необходимости применялась многими

⁵ Первые сообщения о разработке стандарта ASTM D 1310 появились еще в 1952 г. [22]. Данное событие произошло через 30 лет после смерти изобретателя этого прибора Чарльза Тальябу

⁶ В настоящее время область применения метода Тага в открытом тестере расширена на жидкости с температурой вспышки и воспламенения от минус 18 до 165 °C (0–325 °F) [23], за исключением жидких битумов, для которых верхняя граница применения данного метода ограничена 93 °C (200 °F) [24]

исследователями в начале XX в. Однако легализация этого приема произошла позднее. В 1963 г. Американским нефтяным институтом (American Petroleum Institute) был принят стандарт IP 35, в котором используется прибор Пенски-Мартенса без крышки для определения температуры вспышки тяжелых нефтепродуктов [30]. В дальнейшем появляются индийские и британский эквиваленты стандарта IP 35 [31, 32]. В настоящее время компанией EIE Instruments PVT Ltd предлагается прибор Пенски-Мартенса со специальной насадкой для испытаний по стандартам IP 35 и BS 2000:Part 35:1993 (рис. 8).

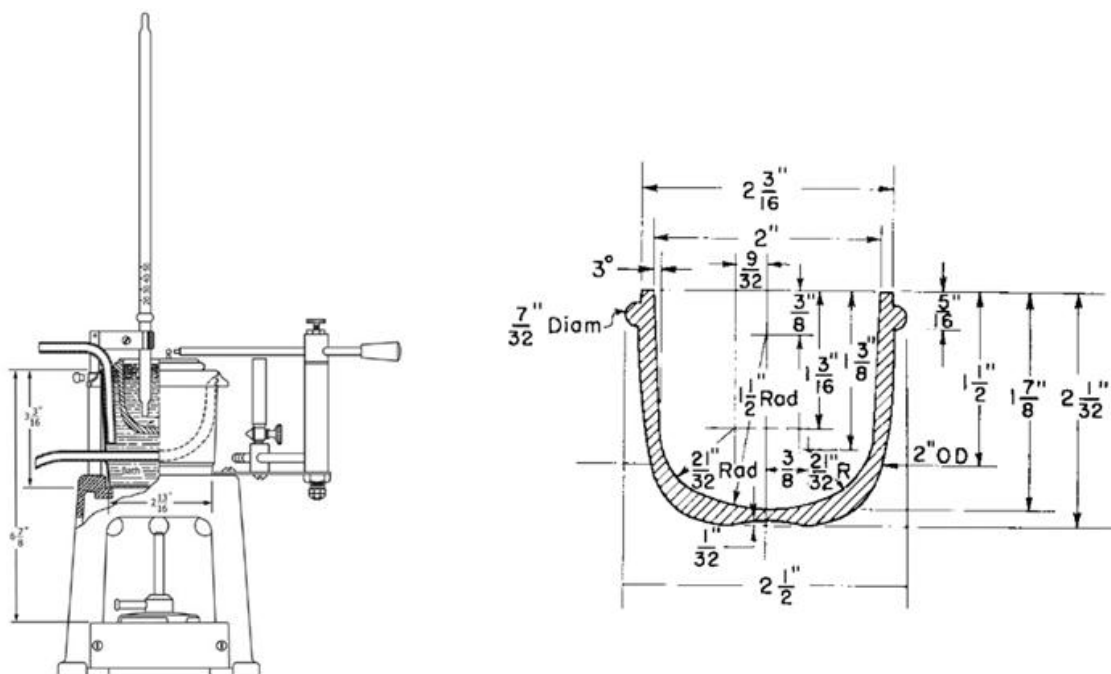


Рис. 7. Открытый прибор Тага и его тигель [22]



Рис. 8. Прибор Пенски-Мартенса компании EIE Instruments PVT Ltd;

а – комплект для испытаний битумов и других нефтепродуктов;

б – насадка для испытаний по стандартам IP 34 и BS 2000:Part 35:1993

(https://www.eieinstruments.com/oil_&_petroleum/lubricant_testing_instruments/pensky-marten-flash-point-apparatus)

В 1952 г. американскими специалистами Ф. МакКатченом (P. McCutchan) и Д.А. Янгом (D.A. Young) предложен микротестер для определения температуры вспышки тяжелых нефтепродуктов [33]. Он состоит из алюминиевого блока 1 диаметром 2 дюйма и высотой 2,5 дюйма, в котором просверлены: канал 2 диаметром 31/64 дюйма и глубиной 1,875 дюйма для пробы ЛВЖ/ГЖ, 2 дюймовой канал 3 для термометра, 11/32 дюймовой наблюдательный

канал 4, который выполнен под углом 70° , горизонтальное $9/64$ дюймовое отверстие 5 для установки источника зажигания 6. Канал 2 закрывается крышкой (пробкой) 7. Для измерения температуры вспышки используется термометр 8. Для нагрева блока 1 и применяется микрогорелка 10 с защитным экраном. Для обеспечения нормальной работы источника зажигания 6 задействована индукционная катушка 9 (рис. 9), которая требуется для испытаний. Авторами микротестера предлагается следующая методика определения температуры вспышки: с помощью шприца в канал 2 вносится проба образца объемом 0,3 мл, далее блок 1 нагревают до 100°F с помощью микрогорелки 10 со скоростью нагрева 30 град/мин, затем скорость нагрева снижают до 30 град/мин и через каждые 5°F осуществляется тест на вспышку. Различие в результатах определения температуры вспышки машинных масел и смазочных материалов в открытом приборе Кливленда и в микротестере [33] не выходят за рамки нормативного допуска по ASTM D92.

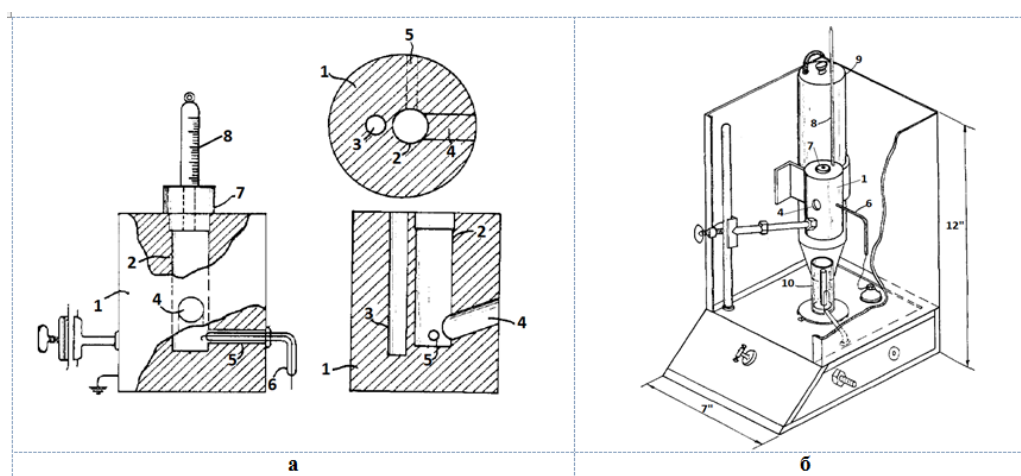


Рис. 9. Микротестер МакКатчана–Янга [33]:
а – устройство основного блока; б – внешний вид прибора

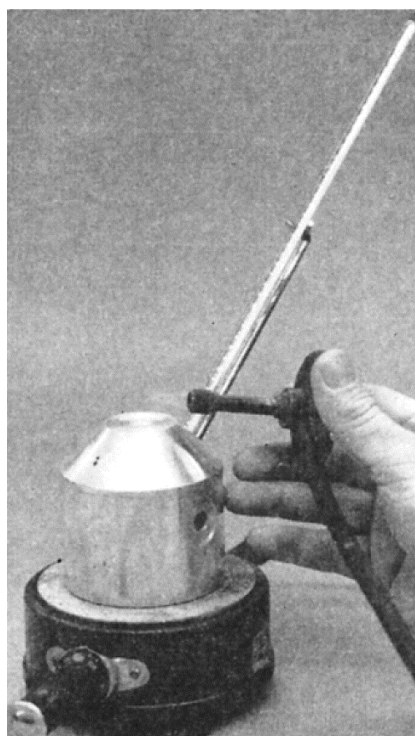


Рис. 10. Метод Гилмора [34]

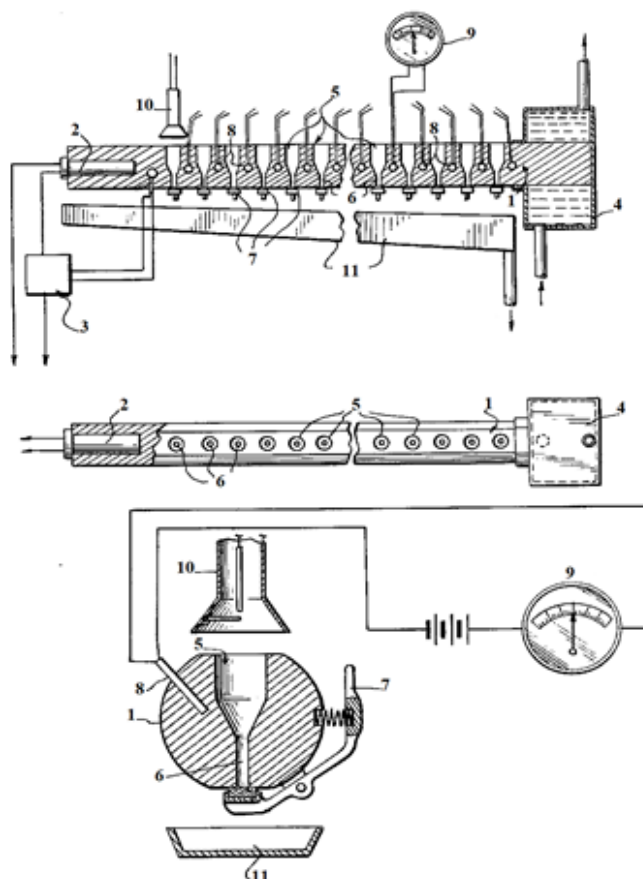


Рис. 11. Тестер компании «Стандарт Ойл» [39]

Американский криминалист А.Е. Гилмор (A.E. Gilmore) приспособил блок для определения температуры плавления и газовую горелку для определения температуры вспышки тонкого слоя горючих жидкостей (рис. 10), для этого на поверхность блока помещается большая капля, далее осуществляется его нагрев за счет внутреннего подогревателя и тестирование на вспышку с помощью внешней горелки [34].

В заводских лабораториях нефтехимических и химических предприятий приходится проводить тестирование большого количества образцов, поэтому сокращение времени испытаний является злободневной проблемой. Для ее решения были предложены различные варианты. Ранее отмечалось, что в испытательной лаборатории Порт Артур Вокс компании Техас (Testing Laboratory, Port Arthur Works, The Texas Co.) разработан комбайн, состоящий из четырех аппаратов Кливленда по ASTM D92 [35].

Сотрудниками Стандарт ойл компании (Standard Oil Co.) использована идея создания градиента температур в приборе для ускорения проведения испытаний. Тестер Стандарт ойл компании (рис. 11) состоит из цилиндра 1, в который вставлен нагреватель 2 с регулятором нагрева 3 с одной стороны, а с другой конца прибора 1 предусмотрено его охлаждение с помощью водяного блока 4. В цилиндре 1 высверлены примерно 21 реакционных тиглей 5 емкостью 1,5 мл, которые оснащены сливным каналом 6 и специальным пружинным запором 7. Для определения температуры используются термодатчики 8 и многопозиционный калиброванный измеритель 9. Для проверки на вспышку задействован искровой источник зажигания 10, который последовательно проводится над тиглями 5 до определения температуры вспышки. Отмечается, что в диапазоне от 350 до 500 °F точность результатов испытаний на нефтометре Стандарт ойл компании совпадает с методом Кливленда. После испытаний пробы тестируемой жидкости сливаются в специальную емкость через лоток 11 путем открытия запорных устройств 7 [36].

В 1961 г. В.И. Шараповым и А.М. Фоминой для уменьшения времени испытаний предложено их проводить в заранее нагретой бане до температуры на 10°C ниже ожидаемой температуры вспышки. Для осуществления данной идеи ими была приспособлена металлическая баня от прибора ПОС-1 для определения фактических смол по ГОСТ 8489–58 (рис. 12 а). В качестве тиглей используются металлические стаканы аппарата ПОС-1, заполненные 40 мл тестируемых образцов нефтепродуктов [37]. Необходимо отметить, что преимущество такого приема определения температуры вспышки существенно в случае неиндивидуальных жидкостей, содержащих легколетучие компоненты.

В приборе Горельцева–Лифшица (рис. 12 б) реализована идея совмещения принципов работы открытого и полужакрытого типов тестеров. Для этого предложено над масляным тиглем установить диски 5 для концентрации образующих паров исследуемой жидкости, также предусмотрена схема сигнализации вспышки паровоздушной смеси испытуемого образца [38]. Сама идея концентрации паров над поверхностью жидкости в открытом тигле при определении температуры вспышки не является пионерской. Ранее для этого использовались защитные экраны, частичное открывание крышки, встряхивание тигля и барботаж воздуха через слой жидкости [1], но набор «концентрирующих дисков» другими изобретателями не применялся.

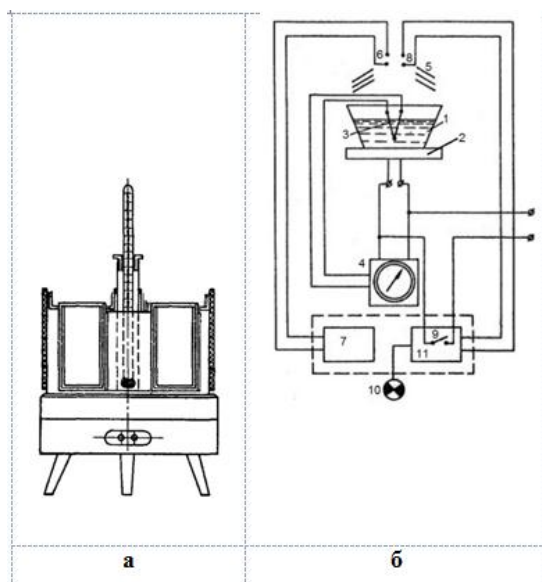


Рис. 12. Модификации приборов типа открытый тигель:

а – металлическая баня с электроплиткой от прибора ПОС-1 [39];

б – аппарат Горельцева–Лифшица [38]:

1 – тигель; 2 – нагреватель; 3 – термопара; 4 – измеритель температуры;

5 – концентрирующие диски; 6 – источник зажигания;

7 – источник высокого напряжения; 8 – электроды высокого напряжения для фиксации пламени вспышки; 9 – выключатель; 10 – сигнальный звонок; 11 – индикатор пробы

Исследователями из Белорусского государственного университета для сокращения времени предложено изменить процедуру испытаний. Первоначально определяется температура вспышки в закрытом тигле при скорости нагрева $7\text{--}20^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, далее удаляется крышка тигля и тестируется вспышка со скоростью нагрева $1\text{--}6^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. Данный прием позволяет уменьшить время испытаний почти в два раза [40].

Ко-Чу Ином (Kou-Chu Yiin) для определения температур вспышки и самовоспламенения нормальных парафинов от C_{12} до C_{15} был создан специальный экспериментальный трехфутовый куб в котором нагрев специальных тиглей осуществлялся от радиационного потока ламп накаливания 2 000 Вт. Для измерения температуры использовались либо три термопары, либо радиометр вставленные в днище тигля (рис. 13). В качестве источника зажигания выступала газовая горелка [41].

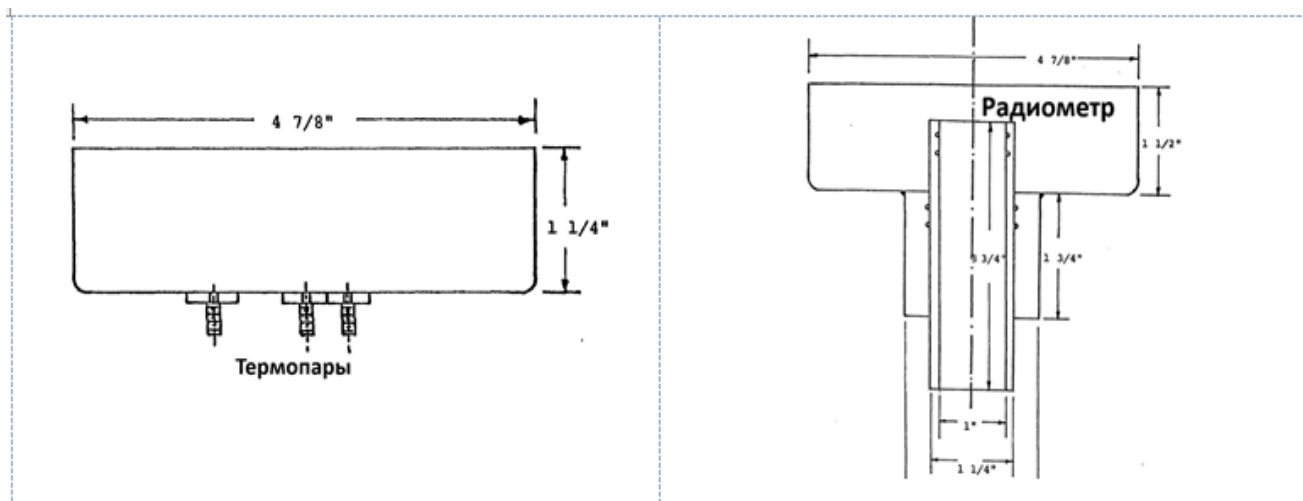


Рис. 13. Открытые тигли Ко-Чу Ина для тестирования парафинов [41]

Вопросы автоматизации процесса измерения температуры вспышки ЛВЖ и ГЖ весьма актуальны в нефтехимической и других отраслях промышленности. В 1986 г. в Советском союзе предложена конструкция автоматического открытого тигля (рис. 14). В процессе испытаний термопарой 6 постоянно осуществляется контроль тестируемой жидкости. Генератором 5 периодически вырабатываются высоковольтные импульсы, поступающие на разрядник (источник зажигания) 4. При вспышке паров происходит дополнительный нагрев не погруженной части термопары 6 на несколько десятков градусов. Данный сигнал поступает на самописец через линию задержки 8, а также в блок отключения 9. Длительность линии задержки 8 выбрана такой, чтобы самописец 7 смог зафиксировать на диаграмме скачек температуры до отключения блоком 9 прибора [40].

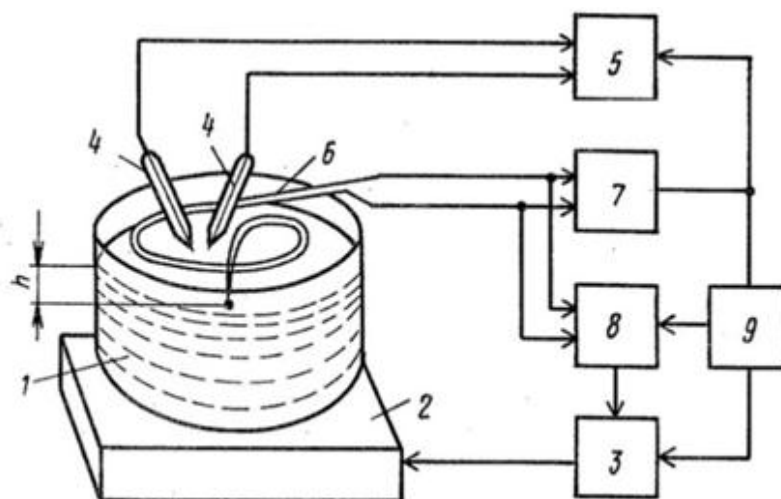


Рис. 14. Прибор Белорусского государственного университета им. В.И. Ленина [40]:

- 1 – тигель; 2 – нагреватель; 3 – блок питания;
4 – источник зажигания; 5 – генератор высоковольтных импульсов;
6 – термопара; 7 – самописец; 8 – линия задержки; 9 – блок отключения

Эволюция открытого прибора и метода Кливленда рассмотрена в отдельной работе [35].

Заключение

Во второй части работы проанализированы открытые аппараты ЛТВО, Эльзаса–Лотарингии, ТВО, Дж.У. МакБарнея, Белорусского госуниверситета, Ф. Уайта, Ч. Тага (Тальябу), МакКатчена–Янга, компании «Стандарт Ойл», Горельцева–Лифшица, Ко-Чу Ина, рассмотрены методики Московского завода «Нефтегаз», Гилмора, Шарапова–Фоминой, а также трансформация закрытого тестера Пенски-Мартенса в открытый нафтометр.

В следующей части работы автора объектом исследования станут тестеры других типов.

Список источников

1. Alexeev S.G., Smirnov V.V., Barbin N.M. First naphthometers to determine the flash point of liquids: I. Open cup devices // Russian Journal of General Chemistry. 2021. Vol. 91. № 3. P. 495–507. DOI: 10.1134/S107036322103018X.
2. Ferraud J. Principes et Pratique des Essais Physiques et Chimiques Effectués sur les Produits Pétrolière. Paris & Liège: Librairie Polytechnique Ch. Béranger, 1937. P. 127–142.
3. Папок К.К., Рагозин Н.А. Словарь по топливам, маслам, смазкам, присадкам и специальным жидкостям (химмотологический словарь). М.: Химия, 1975. С. 211–212.
4. Акучурин А.К. Пособие по горюче-смазочным материалам для Красной армии. Ташкент: Гос. изд-во УзССР, 1942. 190 с.
5. Руководство к практическим занятиям по общей химической технологии / Б.А. Копылев [и др.]. Л.: ГХИ, 1957. С. 262.
6. White W. The Practice of Flash Point Determination: a Laboratory Resource / by ed. R.G. Montemayor. West Conshohocken: ASTM, 2013. 91 p.
7. ГОСТ 4333–48. Масла и темные нефтепродукты. Метод определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле // Нефтепродукты. Методы испытаний. М.: Изд-во стандартов, 1987. Ч. 1. С. 19–24.
8. ГОСТ 12.1.044–84. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. М.: Изд-во стандартов, 1989. 139 с.
9. ГОСТ 12.1.044–89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. М.: Стандартиформ, 2006. 100 с.
10. Means for testing oil: pat. US 1583600 / McBurney J.W.; appl. 29.08.1922; patented 04.05.1926.
11. Устройство для измерения температуры вспышки нефтепродуктов: А.С. 520519 СССР, МПК G 01K 7/02, G 01N 25/00 СССР / Игнатов Л.Ф. [и др.]; заявл. 20.02.1974; опубл. 14.08.1976.
12. Устройство для измерения температуры вспышки нефтепродуктов: А.С. 777374 СССР, МПК 3G01K7/02 / Акимов Н.И. [и др.]; заявл. 12.07.1978; опубл. 07.11.1980. Б.И. 1980. № 41.
13. Устройство для измерения температуры вспышки нефтепродуктов: А.С. 777476 СССР, МПК G01N25/00 / Рудой И.Н., Пещенко А.Д.; заявл. 30.06.1978; опубл. 07.11.1980. Б.И. 1980. № 41.
14. Устройство для измерения температуры вспышки нефтепродуктов: А.С. 1004779 СССР, МПК 3G01K7/02 / Рудой И.Н., Пещенко А.Д.; заявл. 23.04.1979; опубл. 15.03.1983. Б.И. 1983. № 33.
15. Устройство для измерения температуры вспышки нефтепродуктов: А.С. 1040393 СССР, МПК 4G01N25/52 / Рудой И.Н. [и др.]; заявл. 19.03.1979; опубл. 07.09.1983. Б.И. 1983. № 33.
16. Устройство для измерения температуры вспышки нефтепродуктов: А.С. 1004778 СССР, МПК 3G01K7/02 / Рудой И.Н., Пещенко А.Д.; заявл. 22.06.1978; опубл. 15.03.1983. Б.И. 1983. № 10.

17. Устройство для определения температуры вспышки в открытом тигле: А.С. 1425470 СССР, МПК 4G01K7/02; заявл. 30.03.1987; опубл. 23.09.1988 Б.И. 1988. № 35.
18. Устройство для измерения температуры вспышки: А.С. 1177686 А СССР, МПК 4G01K7/52 / Рудой И.Н., Пещенко А.Д.; заявл. 05.01.1984; опубл. 07.09.1985 Б.И. 1985. № 33.
19. Устройство для измерения температуры вспышки нефтепродуктов: А.С. 652448 СССР, МПК 2G01K7/02 / Пещенко А.Д. [и др.], G01N25/00; заявл. 18.07.1977; опубл. 15.03.1979. Б.И. 1979. № 10.
20. Oil flash tester Pat. 2201708 USA Cl. 73-50 / Wight F.H., Bendixen H.H., Williams W.W.; appl. 09.05.1938; patented 21.05.1940.
21. Рыбак Б.М. Анализ нефти и нефтепродуктов. М.: Гостоптхтздат, 1962. С. 126–138.
22. 1955 Book of ASTM Standards Including Tentatives (A Triennial Publication). Part 5. Fuels, Petroleum, Aromatic Hydrocarbons, Engine Antifreezes. Philadelphia: ASTM, 1955. P. 713–717.
23. ASTM D1310-14(21). Standard test method for flash point and fire point of liquids by Tag open-cup apparatus. West Conshohocken: ASTM, 2021. 8 p.
24. ASTM D3143/D3143M-19. Standard test method for flash point of cutback asphalt with Tag open-cup apparatus. West Conshohocken: ASTM International, 2019. 5 p.
25. Approved for Publication by the AASHTO Highway Subcommittee on Materials. Washington: AASHTO, 2013. P. T79-1–T79-6.
26. MTC E 312-2000. Punto de inflamacion mediante la cope abierta Tag. URL: https://www.academia.edu/7117712/MANUAL_DE_ENSAYO_DE_MATERIALES_EM_2000 (дата обращения: 15.04.2025).
27. El Método 8.302.10 (LNV 60). Asfaltos: metodo para eterminar el punto de inflamacion mediante la copa abierta Tag // Manual de Carreteras. Volumen N° 8 Especificaciones y Metodos de Muestreo, Ensaye y Control. Santiago: Direccion de Vialidad, 2003. 8.302.10 (5 p.).
28. MTC E 312. Punto de inflamacion mediante la copa abierta Tag // Manual de Ensayo de Materiales. Lima: MTC, 2016. P. 462–467.
29. Manual on Flash Point Standards and Their Use: Methods and Regulations / by ed. H.A. Wray. Philadelphia: ASTM, 1992. 175 p.
30. IS 144–66 (1969). Methods of test for petroleum and its products, Part 66: Flash Point (open) and fire point by Pensky-Martens apparatus (PCD 1: Methods of Measurement and Test for Petroleum, Petroleum Products and Lubricants). New Delhi: BIS, 1970. 6 p.
31. IS 1209–1978. Methods for testing tar and bituminous materials: Determination of flash point and fire point // Indian Standard Methods for Testing Tar and Bituminous Materials. New Delhi: BIS, 2007. P. 75–86.
32. BS 2000: Part 35:1993. Methods of Test for Petroleum and its Products. Part 35. Determination of Open Flash and Fire Point – Pensky-Martens Method (Identical with IP 35/63(86). London: BSI, 1993. 3 P.
33. McCutchan P., Young D.A. Microdetermination of flash point on petroleum products // Analytical Chemistry. 1952. Vol. 24. № 12. P. 1974–1976. DOI: 10.1021/ac60072a028.
34. Эволюция идей огненных тестов качества керосина / С.Г. Алексеев [и др.] // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 9. С. 30–35. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-9-30-35.
35. Эволюция метода определения температур вспышки и воспламенения в открытом приборе Кливленда / С.Г. Алексеев [и др.] // Российский химический журнал. 2025. Т. 69. № 2. С. 129–155. DOI: 10.6060/rcj.2025692.15.
36. Micro open-cup flash tester: pat. 2939313 USA, Cl. 73-36 / Cropper W.P., De Boer F.E.; appl. 07.10.1957; patented 07.06.1960.
37. Способ определения температуры вспышки в открытом тигле: А.С. 148269 СССР, МПК Кл. 42 I, 8 / Шарапов В.И., Фомина А.М.; заявл. 12.08.1961; опубл. 06.04.1962. Б.И. 1962. № 12.

38. Устройство для определения температуры вспышки жидкостей: А.С. 625153 СССР, МПК G01N25/50 / Горельцев М.Л., Лифшиц Л.М.; заявл. 09.08.1976; опубл. 25.08.1978. Б.И. 1978. № 35.

39. Нефтепродукты. Методы испытаний. М.: Изд-во стандартов, 1977. Ч. 2. С. 403–407.

40. Способ определения температуры вспышки нефтепродукта в открытом тигле: А.С. 1179190 СССР, МПК 4G01N25/52 / Рудой И.Н., Пешенко А.Д.; заявл. 23.12.1983; опубл. 15.09.1985. Б.И. 1985. № 34.

41. Yiin K.-C. Development of small scale liquid ignition test: dis. ... doctor of philosophy. University of Oklahoma, 1979. 181 p.

References

1. Alexeev S.G., Smirnov V.V., Barbin N.M. First naphthometers to determine the flash point of liquids: I. Open cup devices // Russian Journal of General Chemistry. 2021. Vol. 91. № 3. P. 495–507. DOI: 10.1134/S107036322103018X.

2. Feraud J. Principes et Pratique des Essais Physiques et Chimiques Effectués sur les Produits Pétrolifère. Paris & Liège: Librairie Polytechnique Ch. Béranger, 1937. P. 127–142.

3. Papok K.K., Ragozin N.A. Slovar' po toplivam, maslam, smazkam, prisadkam i special'nyim zhidkostyam (himmotologicheskij slovar'). M.: Himiya, 1975. S. 211–212.

4. Akuchurin A.K. Posobie po goryuche-smazochnym materialam dlya Krasnoj armii. Tashkent: Gos. izd-vo UzSSR, 1942. 190 s.

5. Rukovodstvo k prakticheskim zanyatiyam po obshchej himicheskoj tekhnologii / B.A. Kopylev [i dr.]. L.: GHI, 1957. S. 262.

6. White W. The Practice of Flash Point Determination: a Laboratory Resource / by ed. R.G. Montemayor. West Conshohocken: ASTM, 2013. 91 p.

7. GOST 4333–48. Masla i temnye nefteprodukty. Metod opredeleniya temperatur vspyshki i vosplameneniya v otkrytom tigle // Nefteprodukty. Metody ispytaniy. M.: Izd-vo standartov, 1987. Ch. 1. S. 19–24.

8. GOST 12.1.044–84. Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov. Nomenklatura pokazatelej i metody ih opredeleniya. M.: Izd-vo standartov, 1989. 139 s.

9. GOST 12.1.044–89. Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov. Nomenklatura pokazatelej i metody ih opredeleniya. M.: Standartinform, 2006. 100 s.

10. Means for testing oil: pat. US 1583600 / McBurney J.W.; appl. 29.08.1922; patented 04.05.1926.

11. Ustrojstvo dlya izmereniya temperatury vspyshki nefteproduktov: A.S. 520519 SSSR, MPK G 01K 7/02, G 01N 25/00 SSSR / Ignatov L.F. [i dr.]; yayavl. 20.02.1974; opubl. 14.08.1976.

12. Ustrojstvo dlya izmereniya temperatury vspyshki nefteproduktov: A.S. 777374 SSSR, MPK 3G01K7/02 / Akimov N.I. [i dr.]; yayavl. 12.07.1978; opubl. 07.11.1980 B.I. 1980. № 41.

13. Ustrojstvo dlya izmereniya temperatury vspyshki nefteproduktov: A.S. 777476 SSSR, MPK G01N25/00 / Rudoj I.N., Peshchenko A.D.; yayavl. 30.06.1978; opubl. 07.11.1980 B.I. 1980. № 41.

14. Ustrojstvo dlya izmereniya temperatury vspyshki nefteproduktov: A.S. 1004779 SSSR, MPK 3G01K7/02 / Rudoj I.N., Peshchenko A.D.; yayavl. 23.04.1979; opubl. 15.03.1983. B.I. 1983. № 33.

15. Ustrojstvo dlya izmereniya temperatury vspyshki nefteproduktov: A.S. 1040393 SSSR, MPK 4G01N25/52 / Rudoj I.N. [i dr.]; yayavl. 19.03.1979; opubl. 07.09.1983. B.I. 1983. № 33.

16. Ustrojstvo dlya izmereniya temperatury vspyshki nefteproduktov: A.S. 1004778 SSSR, MPK 3G01K7/02 / Rudoj I.N., Peshchenko A.D.; yayavl. 22.06.1978; opubl. 15.03.1983. B.I. 1983. № 10.

17. Ustrojstvo dlya opredeleniya temperatury vspyshki v otkrytom tigle: A.S. 1425470 SSSR, MPK 4G01K7/02; yayavl. 30.03.1987; opubl. 23.09.1988. B.I. 1988. № 35.

18. Ustrojstvo dlya izmereniya temperatury vspyshki: A.S. 1177686 A SSSR, MPK 4G01K7/52 / Rudoj I.N., Peshchenko A.D.; zayavl. 05.01.1984; opubl. 07.09.1985. B.I. 1985. № 33.
19. Ustrojstvo dlya izmereniya temperatury vspyshki nefteproduktov: A.S. 652448 SSSR, MPK 2G01K7/02 / Peshchenko A.D. [i dr.], G01N25/00; zayavl. 18.07.1977; opubl. 15.03.1979. B.I. 1979. № 10.
20. Oil flash tester Pat. 2201708 USA Cl. 73-50 / Wight F.H., Bendixen H.H., Williams W.W.; appl. 09.05.1938; patented 21.05.1940.
21. Rybak B.M. Analiz nefi i nefteproduktov. M.: Gostoptekhtzdat, 1962. S. 126–138.
22. 1955 Book of ASTM Standards Including Tentatives (A Triennial Publication). Part 5. Fuels, Petroleum, Aromatic Hydrocarbons, Engine Antifreezes. Philadelphia: ASTM, 1955. P. 713–717.
23. ASTM D1310-14(21). Standard test method for flash point and fire point of liquids by Tag open-cup apparatus. West Conshohocken: ASTM, 2021. 8 p.
24. ASTM D3143/D3143M-19. Standard test method for flash point of cutback asphalt with Tag open-cup apparatus. West Conshohocken: ASTM International, 2019. 5 p.
25. Approved for Publication by the AASHTO Highway Subcommittee on Materials. Washington: AASHTO, 2013. P. T79-1–T79-6.
26. MTC E 312-2000. Punto de inflamacion mediante la cope abierta Tag. URL: https://www.academia.edu/7117712/MANUAL_DE_ENSAYO_DE_MATERIALES_EM_2000 (data obrashcheniya: 15.04.2025).
27. El Método 8.302.10 (LNV 60). Asfaltos: metodo para eterminer el punto de inflamacion mediante la copa abierta Tag // Manual de Carreteras. Volumen Nº 8 Especificaciones y Metodos de Muestreo, Ensaye y Control. Santiago: Direccion de Vialidad, 2003. 8.302.10 (5 p.).
28. MTC E 312. Punto de inflamacion mediante la copa abierta Tag // Manual de Ensayo de Materiales. Lima: MTC, 2016. P. 462–467.
29. Manual on Flash Point Standards and Their Use: Methods and Regulations / by ed. H.A. Wray. Philadelphia: ASTM, 1992. 175 p.
30. IS 144–66 (1969). Methods of test for petroleum and its products, Part 66: Flash Point (open) and fire point by Pensky-Martens apparatus (PCD 1: Methods of Measurement and Test for Petroleum, Petroleum Products and Lubricants). New Delhi: BIS, 1970. 6 p.
31. IS 1209–1978. Methods for testing tar and bituminous materials: Determination of flash point and fire point // Indian Standard Methods for Testing Tar and Bituminous Materials. New Delhi: BIS, 2007. P. 75–86.
32. BS 2000: Part 35:1993. Methods of Test for Petroleum and its Products. Part 35. Determination of Open Flash and Fire Point – Pensky-Martens Method (Identical with IP 35/63(86). London: BSI, 1993. 3 P.
33. McCutchan P., Young D.A. Microdetermination of flash point on petroleum products // Analytical Chemistry. 1952. Vol. 24. № 12. P. 1974–1976. DOI: 10.1021/ac60072a028.
34. Evolyuciya idej ognennyh testov kachestva kerosina / S.G. Alekseev [i dr.] // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2020. № 9. S. 30–35. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-9-30-35.
35. Evolyuciya metoda opredeleniya temperatur vspyshki i vosplameneniya v otkrytom pribore Klivlenda / S.G. Alekseev [i dr.] // Rossijskij himicheskij zhurnal. 2025. T. 69. № 2. S. 129–155. DOI: 10.6060/rcj.2025692.15.
36. Micro open-cup flash tester: pat. 2939313 USA, Cl. 73-36 / Cropper W.P., De Boer F.E.; appl. 07.10.1957; patented 07.06.1960.
37. Sposob opredeleniya temperatury vspyshki v otkrytom tige: A.S. 148269 SSSR, MPK Kl. 42 I, 8 / Sharapov V.I., Fomina A.M.; zayavl. 12.08.1961; opubl. 06.04.1962. B.I. 1962. № 12.
38. Ustrojstvo dlya opredeleniya temperatury vspyshki zhidkostej: A.S. 625153 SSSR, MPK G01N25/50 / Gorel'cev M.L., Lifshic L.M.; zayavl. 09.08.1976; opubl. 25.08.1978. B.I. 1978. № 35.
39. Nefteprodukty. Metody ispytaniy. M.: Izd-vo standartov, 1977. Ch. 2. S. 403–407.

40. Sposob opredeleniya temperatury vspyshki nefteprodukta v otkrytom tige: A.S. 1179190 SSSR, MPK 4G01N25/52 / Rudoj I.N., Peshchenko A.D.; zayavl. 23.12.1983; opubl. 15.09.1985. B.I. 1985. № 34.

41. Yiin K.-C. Development of small scale liquid ignition test: dis. ... doctor of philosophy. University of Oklahoma, 1979. 181 p.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 05.08.2025; одобрена после рецензирования: 10.09.2025; принята к публикации: 02.10.2025

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 05.08.2025; approved after review: 10.09.2025; accepted for publication: 02.10.2025

Информация об авторе

Алексеев Сергей Геннадьевич, старший научный сотрудник Научно-инженерного центра «Надежность и ресурс больших систем и машин» Уральского отделения Российской академии наук (620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54-а), кандидат химических наук, доцент, e-mail: 3608113@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2951-5078>, SPIN-код: 4563-2451

Information about the author:

Alexeev Sergey G., senior researcher of Scientific and engineering center «Reliability and safety of large systems and machines» of Ural branch of Russian academy of sciences (620049, Yekaterinburg, Studencheskaia str., 54-a), candidate of chemical sciences, associate professor, e-mail: 3608113@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2951-5078>, SPIN: 4563-2451